

高速公路改扩建方式和交通组织发展研究总结

王 健¹, 杜律律², 王胜辉³, 刘健宇⁴

(1. 山东省交通规划设计院集团有限公司, 山东 济南 250101; 2. 上海璟竑交通科技发展有限公司, 上海市 200092;
3. 山东高速工程项目管理有限公司, 山东 济南 250002; 4. 贵州省公路建设养护集团有限公司, 贵州 贵阳 550003)

摘 要: 随着早期建设的高速公路使用寿命逐步萎缩以及近些年车辆数激增带来的巨大交通压力, 我国已进入高速公路改扩建的快速发展阶段。为能够全面和深入了解我国高速公路改扩建的发展规律和特征, 整理统计和分析了新近我国实施的 117 个高速公路改扩建项目, 里程规模超 10 000 km。首先, 从高速公路改扩建规模、时间、方式、车道数量等方面总结我国高速公路改扩建方式的发展特征; 其次, 分析了改扩建方式对改扩建期间施工交通组织方式的影响, 对改扩建期间的保通方向、保通车道数、保通车型及保通速度进行整理分析, 总结我国高速公路改扩建施工交通组织方式的发展规律和特点。

关键词: 高速公路改扩建; 改扩建方式; 施工交通组织; 发展特征

中图分类号: U411

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)10-0011-06

0 引 言

高速公路是我国重要的交通运输通道, 与新建高速公路项目不同, 改扩建高速公路项目涉及施工及保障通行等各方面的需求^[1-2]。因此, 采取合理的改扩建方式与施工交通组织方式, 对高速公路改扩建工程项目意义重大。

我国高速公路建设兴起于 20 世纪 80 年代, 自 1998 年国家出台一系列加强基础设施建设的政策以来, 高速公路建设进入快速发展阶段^[3]; 尤其是自 21 世纪始, 建设以每年平均约 7 000 km 的增速扩张, 截至 2022 年底, 高速公路的总里程已达到 17.73 万 km。近些年, 我国汽车保有量直线上升, 从 2011 年的 9 356.32 万辆发展至 2022 年的 31 903 万辆, 平均每年增幅达 2 000 万辆。随着早期建设公路使用年限的增长, 高速公路从质量和通行能力方面均已进入萎缩阶段; 另一方面, 随着经济迅速发展, 我国高速公路建设在技术标准和通行能力上均有明显提升, 早期建设的高速公路已经很难适应车辆激增带来的巨大交通压力; 再就是近年国家对耕地资源的战略储备限制了很多地区无法进行新的高速公路建

设。因此, 投入相对较少又能避免重新选线以及浪费土地资源等弊端的高速公路改扩建成为首选方式。

相较于以往其他学者对高速公路改扩建单方面研究和经验总结的成果, 本文通过整理分析近些年全国累计 117 条高速公路改扩建项目, 从改扩建方式与施工交通组织发展方式和特征两大方面深入挖掘和分析总结。

1 高速公路改扩建的规模

本文从建设规模、建设时间间隔、改扩建方式、车道数变化和速度变化几个方面分析改扩建高速公路的发展状况。

1.1 建设规模

根据国家统计局公布的高速公路建设规模数据和近些年高速公路改扩建项目资料可知, 随着我国高速公路骨干及路网的完善, 高速公路改扩建里程逐渐增加, 特别是“十三五”和“十四五”期间增速明显。其中改扩建规模和车道公里数变化特征如下。

(1) “十三五”期间各省份高速公路改扩建规模约是“十三五”之前的 1.5 倍; 而“十四五”期间高速公路改扩建规模则直接达到“十三五”期间的 2.86 倍, 接近 3 倍, 如图 1 所示; 如图 2 所示, 将近些年高速公路改扩建里程进行累计, 可看出累计曲线呈指数增长。

(2) 根据改扩建高速公路的车道数, 统计改扩建前后高速公路的车道公里数, 如图 3 所示。改扩建前

收稿日期: 2023-11-27

作者简介: 王健(1992—), 男, 学士, 工程师, 从事交通规划设计工作。

通信作者: 杜律律(1991—), 女, 学士, 工程师, 从事道路交通安全设计与研究工作。电子信箱: 1095171677@qq.com

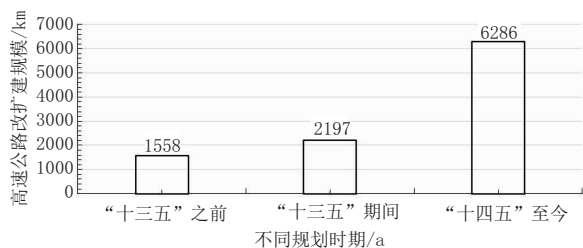


图1 不同规划时期的高速公路改扩建规模分布特征

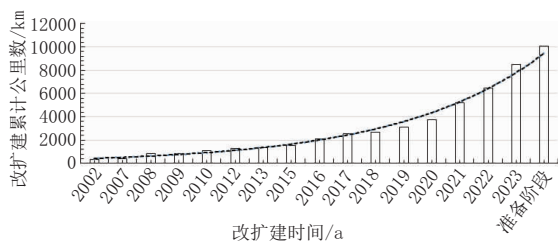


图2 高速公路改扩建里程年累计分布特征

的车道公里数为 43 137.86 km,说明大部分为双向 4 车道高速公路改扩建;改扩建后的车道公里数为 80 531.17 km,改扩建后车道公里数是改扩建前的 1.87 倍。再从各年改扩建前后车道公里数的变化情况来看,可看出,自 2021 年开始,改扩建车道公里数有明显增加,此后平均每年改扩建车道公里数约为 1.3 万 km。

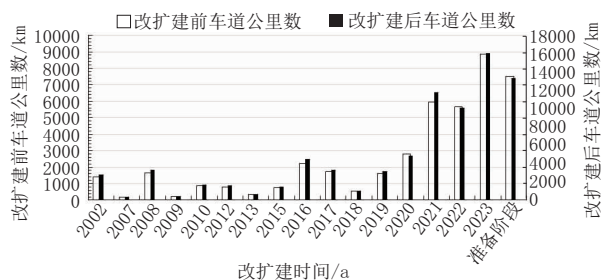


图3 高速公路改扩建前后车道公里数年分布特征

(3)改扩建之后高速公路车道公里数翻倍,高速公路通行能力成倍提升,如图 4 所示,从增长系数来看,“十三五”期间高速公路改扩建车道公里数相比“十三五”之前增长了 1.36 倍,发展至“十四五”时,高速公路车道公里数相比“十三五”增长了 3.05 倍,增长系数呈直线上升。

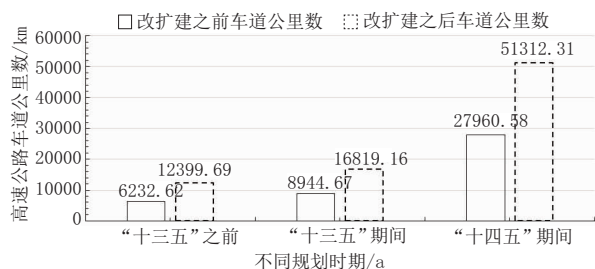


图4 不同规划时期的高速公路改扩建车道公路数分布特征

1.2 建设时间间隔

高速公路自建成通车开始,公路路面的使用寿

命会随着运营时间、长期车辆超载、自然因素以及某些施工因素等逐渐缩短。其中,影响较为明显的就是车辆超载,相关研究结果和实践表明,轴重的超限会使水泥路面使用寿命缩短 40%左右,沥青路面缩短 30~50%左右。

本文通过整理近些年国内高速公路改扩建项目(117 条高速公路)的首次建成通车时间和首次改扩建开工时间,发现高速公路在改扩建时间间隔上存在以下特征。

(1)按照项目数量统计,时间差在 16~20 a 之间进行改扩建的项目占比最高,达 40.66%;时间差在 10~15 a 和大于 20 a 的项目占比差别不大,分别为 21.98%和 26.37%,差 4.39%,如图 5 所示。

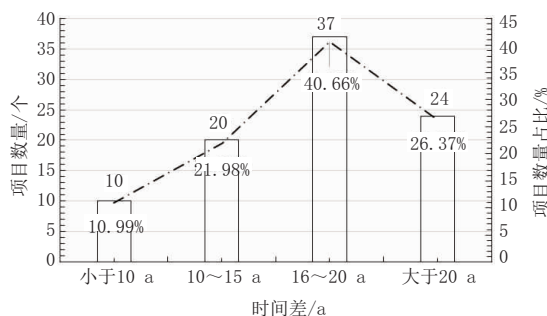


图5 建成通车时间与首次改扩建开工的时间差(按项目数)

(2)按照所统计的 117 条高速公路改扩建项目的公里数统计,同样是时间差在 16~20 a 之间进行改扩建的项目占比最高,占比 36.57%,时间差在 10~15 a 和大于 20 a 的项目占比差别也不大,分别为 24.33%和 28.51%,差 4.18%,如图 6 所示。

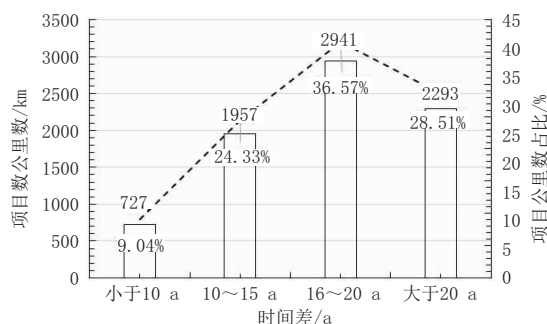


图6 建成通车时间与首次改扩建开始的时间差(按项目公里数)

总体来看,可总结出我国高速公路首次建成通车时间与首次改扩建开始时间的差值主要集中在 16~20 a 之间,其次为 10~15 a 和大于 20 a 阶段。

1.3 改扩建方式

结合相关学者的研究成果和我国高速公路改扩建项目实际情况分析,高速公路改扩建分为另建新线和原路加宽两种方式^[4]。对于另建新线的扩容方式,因扩建过程中不对原有交通产生影响,因此,改

扩建高速公路的交通组织针对的是原路改扩建的扩容方式。目前,我国原路改扩建的高速公路组织方式包括两侧拼宽、两侧分离拼宽、单侧拼宽、单侧分离拼宽、立体改造和预留中央分隔带改造 6 种主要形式^[5],不同形式的改扩建组织方案的主要特点与适用条件,见表 1。

表 1 改扩建高速公路扩建方式分类总结

序号	改扩建方式	适用条件	优点	缺点	平原区	山岭区
1	两侧拼宽	地形条件较好,桥隧比例低,无特殊大桥、隧道路段,互通式立交段优先采用	运营条件好;中央分隔带及内部设施可充分利用;便于路拱设置和互通改造	两侧拼接增加了施工难度;两侧防护、排水等设施均不能利用;施工对交通影响较大	✓	✓
2	两侧分离拼宽	隧道段或受跨线桥桥墩、重要管线、古树等影响段	旧路利用率高,对既有交通影响小	运营条件差	✓	
3	单侧拼宽	边坡高,单侧受保护区,规划区、重要设施、重要建筑物及不良地质影响段	拼接少;只挖除一侧的防护、排水设施;施工时对交通影响小,保通难度小	运营条件相对较差;原中央分隔带及内部设施需要拆除或部分拆除;不利于互通改造	✓	✓
4	单侧分离拼宽	地形起伏大,桥隧比例高,存在高墩大跨桥梁,既有公路平纵指标低,特别是存在长大纵坡段,两侧均受重要设施影响段	无拼接,既有公路利用率高;施工时对交通几乎无影响,增建部分设计相对灵活	互通立交改造难,交通转换复杂,占地	✓	✓
5	立体改造	在无法满足交通出行需求、通道资源利用不足、近远交通混行存在安全隐患及土地资源紧张的情况	在土地资源稀缺、建设严重受限的条件下,实现现状高速公路通行能力的倍增	成本大,工程难度较大,技术复杂	✓	✓
6	预留中央分隔带改造	高速公路建设时期已预留扩建空间或已提前完成施工,作为中央分隔带使用	主体工程与先期工程同步完工,后期改扩建时,节约工期和资金	运营条件相对较差;原中央分隔带及内部设施需要拆除或部分拆除;且工程改造交通影响较大	✓	

通常情况下,针对一条公路的不同地形、结构物分布、线形条件及运营情况,不同的施工路段会采用不同的改扩建方式。结合本文整理分析结果,我国高速公路改扩建方式主要有以下特征。

(1)采用两种或两种以上改扩建方式的占比约有 50.4%,采用两侧拼宽方式的占比约 36.8%,单侧整体拼宽和单侧分离拼宽各占比 0.9%,对预留中央分隔带改造占比 1.7%,而立体改造主要集中在近几年,特别是“十四五”以来较为集中,占统计项目总数的 9.4%。

(2)平原低丘区的改扩建高速公路里程占比为 65.4%,约为山岭重丘区改扩建高速公路里程的 2 倍。原因一方面与平原低丘区经济发达、汽车保有量高、交通需求大有关,也与平原低丘区高速公路改扩建工程难度低、结构物比例小有关。

(3)山岭区高速公路改扩建方式主要选择组合式,占比约为 60.4%;其次是两侧拼宽方式,占比约为 37.5%。山岭区高速公路改扩建项目中,约 29.2%的项目选择了新建复线,如图 7 所示。可见,组合式改扩建是山岭区高速公路改扩建的主要选择方式,而新建复线又往往出现在组合式方式中,突出了山岭区高速公路改扩建方式的特点。

(4)对于平原区的高速公路改扩建项目,如图 8 所示,从数据上可以看出两侧拼宽、单侧拼宽和组合

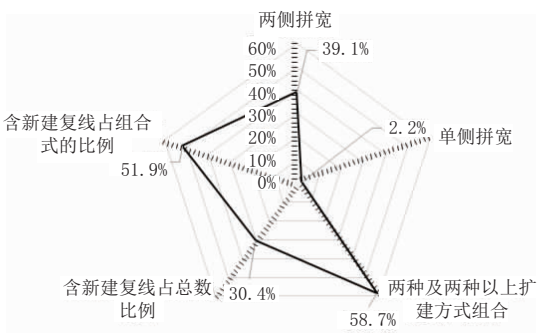


图 7 山岭区高速公路改扩建方式选择分布

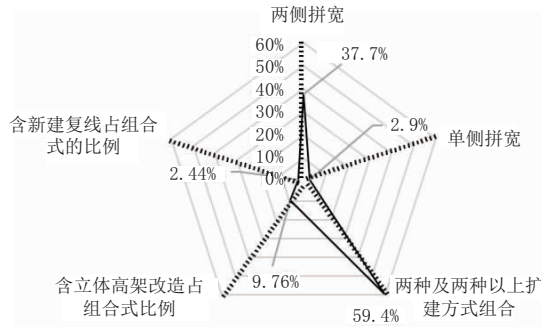


图 8 丘陵、平原区高速公路改扩建方式选择分布

式占比情况分别为 37.7%、2.9%和 59.4%，与山岭区高速公路改扩建方式占比情况差别并不明显，主要区别在于新建复线的比例较低(2.44%)，存在立体改造或包含立体高架改造的组合式改扩建，占比 9.76%。可见,平原区的高速公路改扩建多采用原路扩建的方案,以两侧拼宽为主,如安徽、山东、河南等;而经济较发达的沿海省份,如上海、福建、厦门、

广东等省份会采用包含立体扩建在内的组合式改扩建方式。

1.4 车道数变化特征

从高速公路改扩建开始至今,改扩建车道数量主要从双向4车道向双向6车道和双向8车道进行改扩建,也有部分后建的高速公路按照双向6车道或双向8车道标准建设,改扩建时车道规模则向双向8车道、双向10车道、双向12车道及以上车道数发展。

(1)从改扩建项目的个数及改扩建项目公里数来看,如图9和图10所示,占比最高的就是由双向4车道改扩建为双向8车道,分别占比约70.09%和79.35%;其次为双向4车道改扩建为双向6车道,分别占比约15.38%和8.11%;双向6车道改扩建为双向8车道分别占比约7.69%和4.07%;双向6车道改扩建为双向10车道分别占比约5.98%和3.73%;其余车道变化的项目数量和规模占比均不足2%。

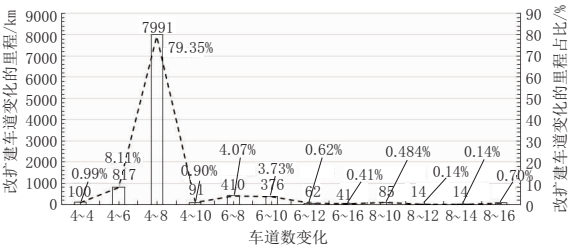


图9 高速公路改扩建车道变化(里程)

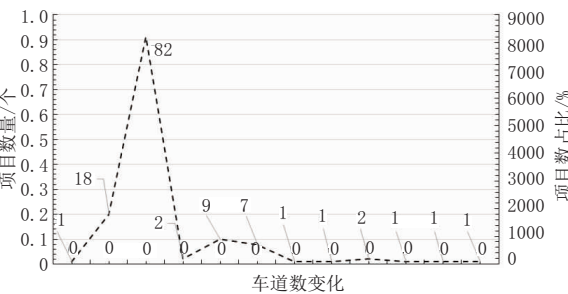


图10 高速公路改扩建车道变化(项目数)

(2)重丘、山岭区的高速公路改扩建基本均为双向4车道改扩建为双向8车道,如图11所示,占比高达99.23%。车道规模达双向10车道及以上的基本集中在平原区。

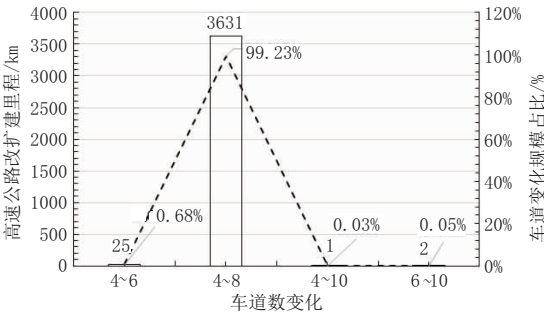


图11 重丘、山岭地区高速公路改扩建车道变化分布特征

1.5 速度变化特征

经统计,本次整理的高速公路改扩建项目中约有1299 km进行了提速,其中平原区提速占比76%,主要为100 km/h提高至120 km/h;山区提速占比22.4%,主要为80 km/h提高至100 km/h,仅部分项目在改扩建过程局部路段将设计速度从100 km/h提高至120 km/h。其余项目设计速度标准未发生变化,如图12所示。约87%的高速公路设计速度维持建成时的标准。我国高速公路是以设计速度为基准确定公路的最低技术指标值,若改扩建时提高公路的设计速度,会面临极限或最低值指标的调整,因此,不进行速度的调整是高速公路改扩建的主流。对于提速的高速公路,主要以低速的山岭重丘区和平原区高速公路为主。

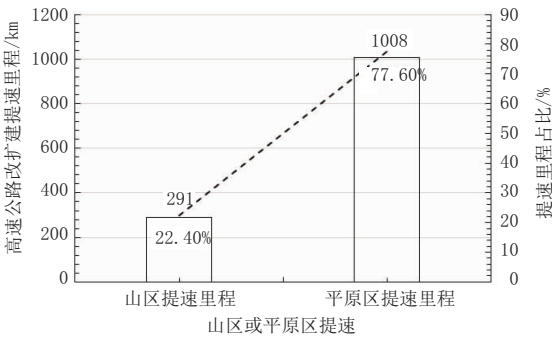


图12 高速公路改扩建提速里程分布特征

2 高速公路改扩建施工交通组织发展

2.1 施工交通组织方式分布特征

通过总结以往高速公路养护工程和改扩建工程的施工交通组织方案,整理分析共性及特点,得到高速公路改扩建施工交通组织方案一般包括全封闭式施工、半幅封闭式施工、全幅区分车型分流施工、半幅区分车型分流施工、开放式施工、组合式施工等多种组织方式^[6]。基于实际统计到的项目数据来看,不同的改扩建方式采取的交通方式是有所重叠的,并不是单一的。

(1)不同组织方式占比

从项目数量上看,如图13所示,采用半幅封闭组织方式的项目占比最大,约43.75%;其次是采用全幅区分车型分流施工的项目数量,占比34.38%;组合式施工交通组织方式的项目占比15.63%,位居第三;采用全封闭和开放式施工交通组织方式的项目数量较少,两者占比均为3.13%。从项目改扩建里程上看,如图14所示,采用全幅区分车型分流组织方式的项目里程数占比最大,约45.47%;其次是采

用半幅封闭组织方式项目里程,占比 39.15%;组合式施工交通组织方式的项目里程占比 11.73%,位居第三;采用全封闭和开放式施工交通组织方式的项目里程数量占比分别为 1.65%和 2.00%。总体来看,近年来我国高速公路改扩建施工交通方式主要以半幅封闭施工、全幅区分车型分流施工为主,依据项目实际情况灵活采用组合式施工交通组织方式。

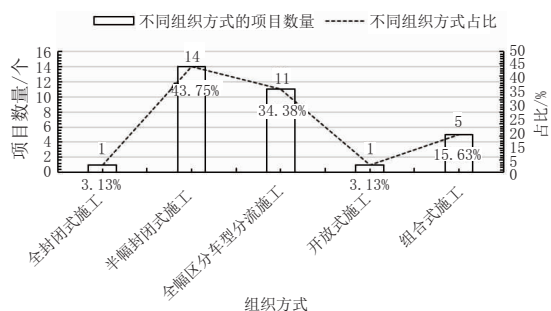


图 13 不同组织方式的项目数量占比分布特征

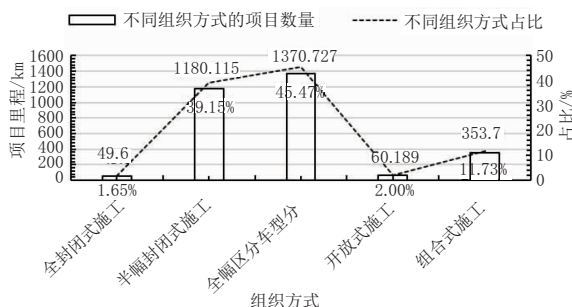


图 14 不同组织方式的项目改扩建里程占比分布特征

(2)不同时间阶段的组织方式分布

从时间分布上看,如图 15 所示,“十三五”期间半幅封闭施工的高速公路里程占比较高,“十四五”期间全幅区分车型分流施工的组织方式又明显高于其他方式。从施工交通组织方式的时间转变规律上来看,我国高速公路改扩建在逐渐从大力保障施工区安全转变到考虑周边路网交通压力和缩短工期上,也从侧面反应出,高速公路改扩建施工交通组织是从简到繁转变的,较明显的转折点出现在 2021 年,即“十四五”规划初期。

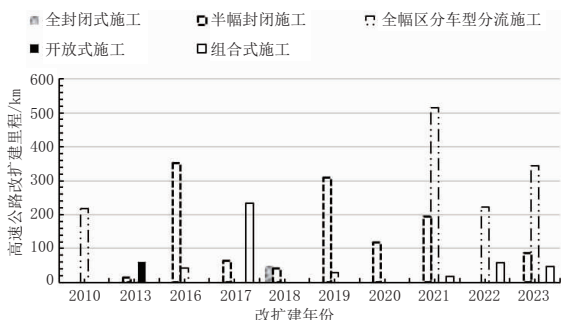


图 15 不同年份组织方式对应的公里数分布特征

2.2 施工保通方向分布特征

改扩建过程中高速公路保通方向分别有全幅双

向保通、半幅双向保通、半幅单向保通、半幅分时间阶段“潮汐式”保通、全封闭式施工、分阶段双向或单向保通。

(1)不同保通方向占比

近年来我国高速公路改扩建工程保通方式主要采用双向保通,如图 16 和图 17 所示。双向保通中又主要采用全幅双向保通,以兼顾高速公路和分流道路的通行能力,增加工作面的同时缩短工期。

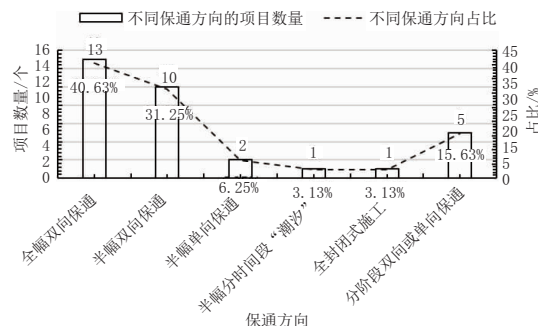


图 16 不同保通方向的项目数量占比分布特征

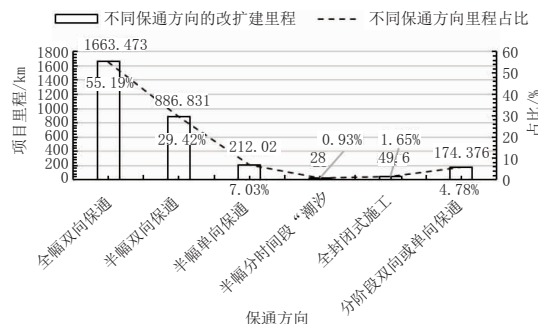


图 17 不同保通方向的项目改扩建里程占比分布特征

(2)不同时间阶段的保通方向分布

从时间分布上看,如图 18 所示,“十三五”期间半幅双向保通的高速公路里程占比较高,“十四五”期间全幅双向保通公里数又明显高于其他保通方式。同时也可以看出保通方向分布特征与施工交通组织方式分布特征基本一致,全幅区分车型分流组织方式主要采取全幅双向保通,半幅封闭施工组织方式主要采取半幅双向保通。

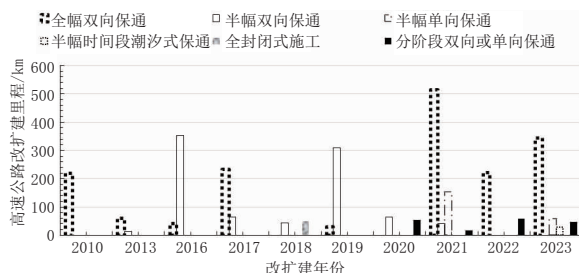


图 18 不同保通方向年分布特征

2.3 施工保通车道数分布特征

在改扩建施工过程中保通车道数量包括 2 车道保通、4 车道保通、6 车道保通和分阶段采用不同保

通车道数等多种情况。

4车道保通和分阶段采取不同保通车道数的里程占比明显高于2车道保通和6车道保通的里程占比,占统计总里程的92.63%,如图19所示。对于4车道保通和分阶段采取不同保通车道数,又可以将其与施工交通组织方式中车辆保通方向进行联系,4车道保通对应的保通方向中仅不足2%采取半幅保通,其余均为全幅双向保通。对于分阶段采取不同保通车道数的项目,保通方向分布较离散,有半幅双向保通、半幅单向保通、全幅双向保通及分阶段双向或单向保通;但总体看,半幅保通占比高于全幅保通占比。

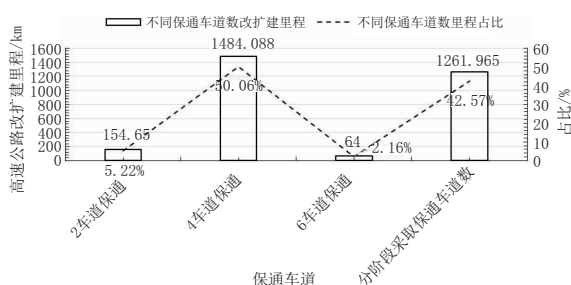


图19 不同保通车道数改扩建里程占比分布

2.4 施工保通车型分布特征

在高速公路改扩建施工过程中,分流方案包括不分流(维持现场通行)、完全分流(全封闭施工)和部分车辆分流。部分车辆分流又包括分流大件运输车、分流大型货车、分流危运车、分流大型客/货车、分流大型客/货车/危运车,如图20所示。

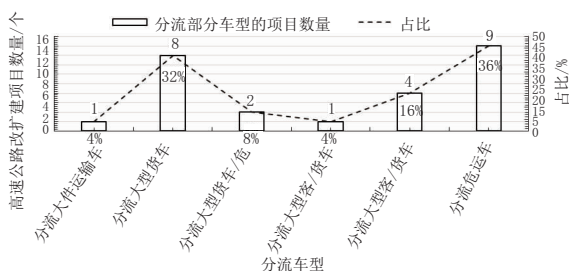


图20 高速公路改扩建项目中分流车型的分布特征

可以看出,在分流部分车流的情况下,分流大型货车、大型客车、危运车辆的高速公路改扩建项目占比整体较高,达96%;其中明确仅分流危运车辆的有36%,仅分流大型货车的有32%,同时分流大型客/货车/危运车的有16%。

高速公路改扩建工程实际实施过程中,施工交通组织方案是一项复杂且涉及面较广的工作,分流车型应根据不同的施工时段,改扩建道路的通行条件,逐步调整分流车型。

2.5 施工保通速度分布特征

(1)基于车道变化的保通车速分布

当高速公路由双向4车道改扩建为双向8车道时,不论是60 km/h保通、80 km/h保通还是组合限速保通(分阶段/分段保通)的里程分布占比均较大,其中组合限速保通的改扩建里程>采取80 km/h保通车速的改扩建里程>采取60 km/h保通车速的改扩建里程,如图21所示。也反映出4车道改8车道是近些年我国高速公路改扩建的主要形式。

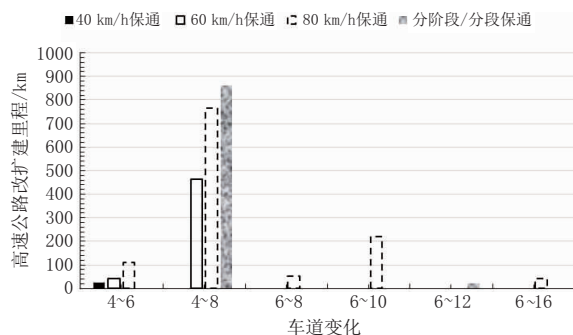


图21 不同车道变化规模下保通车速分布特征

(2)基于改扩建里程的保通车速分布

从统计结果可以看出,近年来我国高速公路改扩建项目施工交通组织保通车速值主要采取80 km/h限速保通和组合限速保通,里程占比分别为45.13%和34.81%,60 km/h限速保通里程占比19.17%,如图22所示。

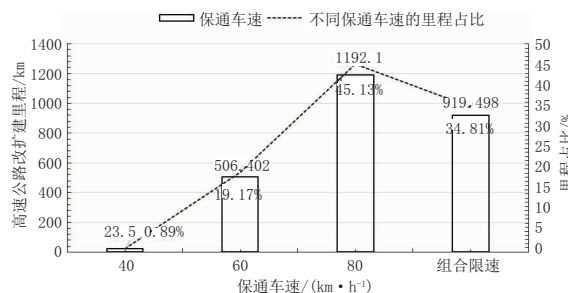


图22 不同保通车速项目里程占比分布

(3)基于时间发展的保通车速分布

“十三五”规划之前高速公路改扩建过程中主要采取60 km/h限速,部分采取80 km/h限速;而“十三五”期间开始采用分阶段或分段限速,其中采用60 km/h限速的改扩建项目规模减少,80 km/h限速和组合限速的改扩建规模增加;到了“十四五”规划期间,高速公路改扩建限速主要采用80 km/h和组合限速,仅有少部分改扩建项目的限速值采用60 km/h,如图23所示。可以看出,近年来我国高速公路改扩建项目施工交通组织期间的保通速度整体上是提升的。

3 结 语

本文以近年来我国实施的117个高速公路改扩建(下转第36页)

段通行效率。因此,该项目首先通过合理优化护栏位置增大横净距,然后适当增大平曲线半径以减小路段横净距需求,充分利用中间带的宽度减小停车视距曲线半径,从而在满足路权要求的前提下控制工程规模。如图3所示,停车视距不满足路段通过优化标准横断面护栏设置位置,横净距可以增大至1.75 m(行车道一半)+0.9 m(路缘带)+1.85 m(含C值)=4.5 m,依据式(4)反算,满足此横净距的最小平曲线半径为1 220 m(对应行车道曲半径1 225 m)。

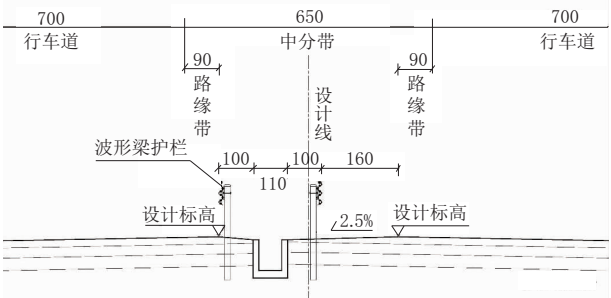


图3 压缩中分带宽度示意图(单位:cm)

4 结 语

经过对中、坦、美三国停车视距计算及参数取值的对比分析,发现中外规范在设计理念、计算方法、参数选取上不尽相同。

(1)中国规范采用行驶速度及摩阻系数确定停车视距;坦桑规范计算方法与中国相同,只是采用设计速度以及不同的摩阻系数;美国规范计算方法不同于中、坦两国,采用设计速度和减速度计算确定。在相同设计速度下中国《路线规范》规定的停车视距

最小,美国规范次之,坦桑规范最大。

(2)坦桑规范在规定了停车视距的同时又规定了各设计速度及曲线半径对应的最小横净取值,通过计算分析,设计速度120 km/h时最小横净距对应的停车视距为210 m,与中国《路线规范》规定的停车视距相同。

(3)不同项目不同曲线段视距与路段具体情况相关,因此视距检验和可采用的保障措施不尽相同,应结合项目及具体路段需求,合理选取视距保障措施。

(4)各国规范设计理念、计算方法以及参数选取各不相同,因此海外项目应充分结合当地人文、经济、地理、经验习惯等综合确定设计方法及参数取值,满足项目合同及规范要求、线形平顺、适应地形、安全经济、舒适和谐。

参考文献:

[1] JTG B01—2014,公路工程技术标准[S].
[2] JTG D20—2017,公路路线设计规范[S].
[3] JTG B05—2015,公路项目安全性评价规范[S].
[4] The United Republic of Tanzania Ministry of Works.Road Geometric Design Manual[M]. Dodoma: The United Republic of Tanzania Ministry of Works , 2011.
[5] American Association of Sate Highway and Transportation Officials.A Policy on Geometric Design of High-way and Streets[M].Washington: American Association of Sate Highway and Transportation Officials, 2011.
[6] 可加银.基于中外规范对比的公路视距安全性分析[J].交通科技, 2021,304(1):108-110.
[7] 张金水.道路勘测与设计[M].上海:同济大学出版社,2009.

(上接第16页)

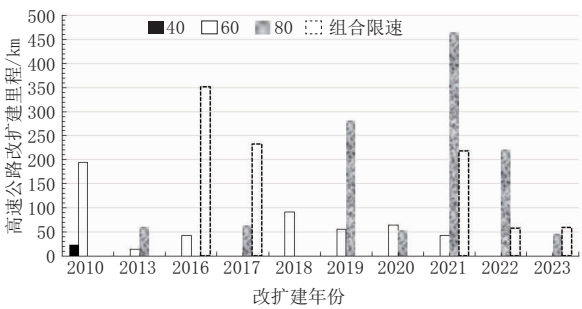


图23 不同保通车速年分布特征

建项目为基础,首先从高速公路改扩建规模、建设时差、改扩建方式、保通速度与车道数变化等方面分析改扩建高速公路的发展特征,其次对改扩建交通组织方式、保通方向、保通车道数、保同车型和保通速

度进行分析总结,可供同行业类似工程项目提供学习和参考。

参考文献:

[1] JTG/T L11—2014,高速公路改扩建设计细则[S].
[2] JTG/T 3392—2022,高速公路改扩建交通组织设计规范[S].
[3] 倪静哲.高速改扩建工程交通组织研究—以京藏高速宁夏过境段为例[D].重庆:重庆交通大学,2017.
[4] 王选仓,傅珍,李宏志,等.高速公路改扩建方式对比研究[C]// 高速公路改扩建方式对比研究.北京:中国科学技术协会声像中心,2007.
[5] 付裕,隆海健.高速公路改扩建工程加宽方式的研究[J].公路交通科技(应用技术版),2015,11(7):88-91.
[6] 韩熠,李杰.高速公路改扩建工程施工交通组织研究[C]// 高速公路改扩建工程施工交通组织研究.武汉:《交通科技》杂志社,2007.